



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 44 37 284 A 1

51 Int. Cl.⁸:
B 23 K 26/00
G 02 B 28/10
G 03 F 7/20
B 29 C 39/42
// G 06 F 17/50

21 Aktenzeichen: P 44 37 284.1
22 Anmeldetag: 18. 10. 94
43 Offenlegungstag: 25. 4. 98

DE 44 37 284 A 1

71 Anmelder:
EOS GmbH Electro Optical Systems, 82152 Planegg,
DE

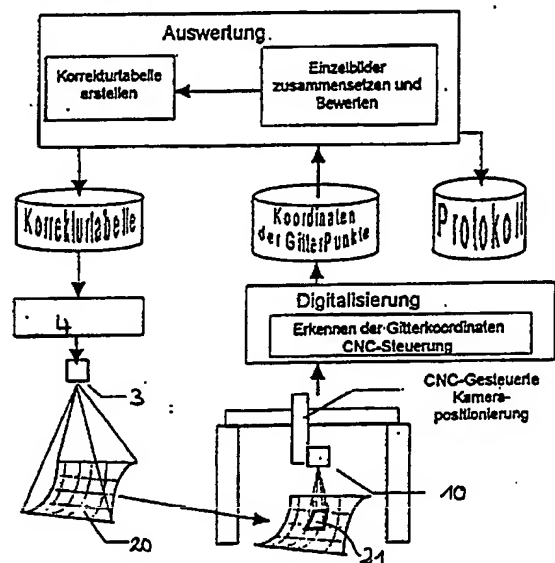
74 Vertreter:
Prüfer und Kollegen, 81545 München

72 Erfinder:
Wilkening, Christian, 86911 Dießen, DE; Serbin,
Jürgen, 82166 Gräfelfing, DE; Langer, Hans J., Dr.,
82166 Gräfelfing, DE; Hornig, Guido, 80339 München,
DE; Rönner, Andreas, 81371 München, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum Kalibrieren einer Steuerung zur Ablenkung eines Laserstrahls

57 Bei einem Verfahren zur Kalibrierung einer Steuerung zur Ablenkung eines Laserstrahls wird ein lichtempfindliches Medium (5) mit einem Laserstrahl (2) an vorgegebenen Positionen zum Erzeugen eines Testbilds (20) bestrahlt, anschließend werden digitalisierte Einzelbilder von Bildausschnitten (21) des Testbilds (20) erzeugt und die digitalisierten Einzelbilder zu einem digitalisierten Gesamtbild des Testbilds (20) zusammengesetzt. Die Berechnung von Korrekturdaten für die Steuerung (4) zur Ablenkung des Laserstrahls (2) erfolgt auf der Grundlage eines Vergleichs von Istpositionen des Laserstrahls (2) auf dem digitalen Gesamtbild mit vorgegebenen Sollkoordinaten.



DE 44 37 284 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 02. 98 602 017/123

9/32

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Kalibrieren einer Steuerung zur Ablenkung eines Laserstrahls für Rapid-Prototyping-Systeme.

Bei einem unter der Bezeichnung "Rapid Prototyping" oder "formgebendes Fertigungsverfahren unter Zuhilfenahme von Lasertechnik" bekannten Verfahren wird ein dreidimensionales Objekt schichtweise durch Aufbringen und anschließendes Verfestigen aufeinanderfolgender Schichten eines zunächst flüssigen oder eines pulverförmigen Materials hergestellt. Die Verfestigung erfolgt dabei durch einen gebündelten Lichtstrahl in Form eines Laserstrahls, der auf dem Objekt entsprechende Stellen der Schicht gerichtet bzw. abgelenkt wird und dort die Verfestigung des Materials bewirkt. Die Ablenkung des Laserstrahls erfolgt über einen Scanner, der über eine Steuerung derart betrieben wird, daß der Laserstrahl auf jede gewünschte Position in einer Arbeitsebene, die durch die Ebene der obersten zu verfestigenden Schicht des Objekts definiert ist, abgelenkt werden kann. Das Rapid-Prototyping-Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens sind beispielsweise aus der DE 41 34 265 bekannt.

Um die Koordinaten für den Scanner in realen Koordinaten, d. h. in Positionskoordinaten des Auftreffpunktes des Laserstrahls in der Arbeitsebene angeben zu können, benötigt die Scannersteuerung eine Korrekturtabelle. Die Korrekturtabelle enthält eine Zuordnung der realen Koordinaten zu Scannerkoordinaten, d. h. zu den Koordinaten von in dem Scanner enthaltenen Ablenkspiegeln. Diese Korrekturtabelle kann analytisch erstellt werden, wobei eine trigonometrische Feldverzerrung und Effekte der Scanneroptik ausgeglichen werden. Scanner- und prozeßspezifische Fehler können analytisch jedoch nicht korrigiert werden. Deshalb wird zur Korrektur der Scannersteuerung eine Kalibrierung durchgeführt, die über die Messung eines Fehlers zwischen Soll- und Istposition des Laserstrahls in der Arbeitsebene die Korrekturtabelle angleicht.

Bei einem bekannten Kalibrierungsverfahren wird mit einem positionsempfindlichen Detektor in der Arbeitsebene des Scanners an verschiedenen Positionen die Istposition des Laserstrahls gemessen. Durch Vergleich der gemessenen Istpositionen mit Sollpositionen und Interpolation der Meßpunkte wird eine Korrekturtabelle erstellt. Für die Genauigkeit der Kalibrierung ist die Positioniergenauigkeit des Detektors entscheidend. Jedes der beteiligten Systeme benötigt diese Positioniergenauigkeit. Da der Prozeß für große Arbeitsfelder sehr lange dauert, zur Kalibrierung des Scanners für ein 600 mm × 600 mm großes Arbeitsfeld werden etwa 6–8 Stunden benötigt, gehen eine mögliche Drift des Lasers und des Scanners in die Kalibrierung als systematischer Fehler ein. Die Mechanik zur Durchführung der Kalibrierung, d. h. der Detektor und eine Einrichtung zum Positionieren des Detektors, sind in dem Rapid-Prototyping-System selbst erforderlich. Eine iterative Durchführung des Verfahrens ist aufgrund der langen benötigten Kalibrierungszeitdauer nicht sinnvoll und auch nicht rentabel. Außerdem ist der Detektor nur für bestimmte Wellenlängen des Laserlichtes und bestimmte Laserleistungen einsetzbar, was zu einer eingeschränkten Anwendbarkeit des Verfahrens führt.

Eine andere bekannte Möglichkeit eines Kalibrierungsverfahrens besteht darin, daß der Laserstrahl über einen Spiegel direkt in eine Videokamera abgelenkt wird. Dabei werden jeweils die einzelnen Auftreffpunk-

te des Laserstrahles in der Kamera digitalisiert, nicht jedoch ein Bild des gesamten Arbeitsfeldes. Durch Interpolieren verschiedener Istpositionen des Laserstrahls wird eine Korrekturtabelle erstellt. Dieses Verfahren kann iterativ eingesetzt werden, da es sehr schnell ist. Das Auflösungsvermögen der Kamera geht jedoch direkt in die Genauigkeit ein. Je größer das Arbeitsfeld ist, desto schlechter ist die Auflösung.

In einem weiteren bekannten Verfahren wird der Laserstrahl auf verschiedene Positionen auf einer brennbaren Unterlage gelenkt, um darauf vorgedruckte Rahmen, die Sollpositionen des Laserstrahls darstellen, zu markieren. Mit einem Pixelscanner wird sodann die Abweichung zwischen den Istpositionen und den Sollpositionen des Laserstrahls auf der Unterlage gemessen und eine Korrekturtabelle erstellt. Die Genauigkeit dieses Verfahrens ist abhängig von der Auflösung des Scanners, mit dem die Unterlage ausgewertet wird. Durch eine Erhöhung der Meßpunktanzahl kann die Genauigkeit verbessert werden, die Größe des Arbeitsfeldes ist jedoch auf den Arbeitsbereich des Scanners begrenzt.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Kalibrierungsverfahren bereitzustellen, das eine Kalibrierung und eine Beurteilung einer bereits durchgeführten Kalibrierung mit hoher Genauigkeit und hoher Geschwindigkeit ohne auf lösungsbedingte Beschränkung der Größe des Arbeitsfeldes erlaubt.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren nach dem Patentanspruch 1. Weiterbildungen des Verfahrens sind in den Unteransprüchen gegeben.

Das Verfahren hat den Vorteil, daß das Testbild in sehr kurzer Zeit erzeugt werden kann beispielsweise in 30 Sekunden. In diesem Zeitraum auftretende Laser- und Scannerdriften gegen nur unwesentlich in die Kalibrierung ein. Dadurch wird ein stationärer Zustand kalibriert. Falls Driften von einer durchgeführten zur nächsten Kalibrierung auftreten, führen diese nicht zu einer Verzerrung der Kalibrierung, sondern verändern bzw. verschieben das gesamte Testbild nur um einen Offset. Die gesamte Kalibrierung ist wesentlich schneller durchzuführen als bei dem Verfahren, bei dem ein positionsempfindlicher Detektor verwendet wird. Das Verfahren hat daher den Vorteil, daß es iterativ durchzuführen ist und damit zu einer hohen Genauigkeit führt.

Die Auswertung des Testbildes kann in einer anderen Vorrichtung durchgeführt werden, als die Erzeugung des Testbildes. Das hat den Vorteil, daß die Vorrichtung zur Auswertung des Testbildes für die Kalibrierung von Lasersteuerungen verschiedener Rapid-Prototyping Systeme genutzt werden kann und die Kalibrierung an einer zentralen Stelle durchgeführt werden kann. Somit reduziert sich der Zeit- und Arbeitsaufwand für einen Benutzer eines Rapid-Prototyping-Systemes erheblich.

Das Testbild kann zur Digitalisierung in Einzelbilder zerlegt werden, wobei Koordinaten von Merkmalen der Einzelbilder nach der Digitalisierung für die Auswertung zusammengesetzt werden. Die Digitalisierung kann beispielsweise mit einer Videokamera oder einem Pixelscanner mit entsprechender Auflösung und Graustufenerkennung erfolgen. Insbesondere die Verwendung eines Pixelscanners stellt eine wirtschaftliche Lösung einer Bildaufnahme dar.

Die Größe der Einzelbilder kann durch ein zu wählendes Objektiv der Kamera verändert werden, wodurch sich die Genauigkeit steigern läßt. Dadurch ist das Verfahren unabhängig vom Auflösungsvermögen einer elektronischen Schaltung der der Videokamera. Das Zusammensetzen der Einzelbilder erlaubt Arbeitsfeldgrö-

Ben, die nur durch die Positionierbarkeit der Kamera begrenzt werden.

Die Verwendung eines für die jeweilige Wellenlänge des Laserlichtes und für die jeweilige Laserleistung geeigneten Filmes zum Erzeugen eines Testbildes erlaubt die Anwendung des Verfahrens bei Rapid-Prototyping-Systemen mit unterschiedlichsten Lasern.

Weitere Merkmale und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Figuren.

Von den Figuren zeigen:

Fig. 1a eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Testbildes zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 1b eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Auswertung des Testbildes zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 eine schematische Darstellung des Verfahrensablaufs der Kalibrierung.

Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens weist eine Vorrichtung zum Erzeugen eines Testbildes und eine Vorrichtung zum Auswerten des Testbildes auf, die räumlich voneinander getrennt sind. Die Vorrichtung zum Erzeugen eines Testbildes ist ein Teil eines Rapid-Prototyping-Systems.

Wie aus Fig. 1a ersichtlich ist, weist die Vorrichtung zum Erzeugen eines Testbildes einen Laser 1, der einen gerichteten Laserstrahl 2 abgibt, sowie einen XY-Scanner 3 in Form eines Galvanometerscanners, zum Ablenken des Laserstrahls 2 auf. Auch ein piezoelektrisch gesteuerter Scanner ist möglich. Zum Steuern des Scanners 3 ist eine Steuerung 4 vorgesehen, die die für die Ansteuerung des Scanners erforderlichen Daten, beispielsweise Spannungsverläufe, erzeugt. In der Strahlrichtung des durch den Scanner 3 abgelenkten Laserstrahles 2 ist ein für eine Wellenlänge des Laserlichtes und/oder eine bestimmte Laserleistung empfindlicher Film 5 zum Erzeugen eines Testbildes vorgesehen, auf den der abgelenkte Laserstrahl 2 auftrifft. Als lichtempfindlicher Film 5 ist beispielsweise Thermopapier oder UV-empfindliches Fotopapier geeignet. Der Film 5 definiert eine Arbeitsebene des Scanners 3.

Zum Tragen des lichtempfindlichen Films 5 ist ein ebener Träger 6, beispielsweise in Form einer Plexiglasplatte, vorgesehen, auf deren dem Laserstrahl zugewandten Seite 6a der lichtempfindliche Film 5 angeordnet ist. Der Träger 6 weist an seiner dem Film 5 bzw. dem Laserstrahl 2 abgewandten Seite höhenverstellbare Füße 7, beispielsweise in Form von Verstellschrauben, auf, mittels derer der Träger 6 auf der Oberseite 8a einer Trägerplattform 8 eines Objektträgers 9 in dem Rapid-Prototyping-System anbringbar ist. Der Träger 6 ist derart höhenverstellbar, daß er einen definierten Abstand h parallel zur Oberseite 8a der Trägerplattform 8 aufweist, so daß er auch parallel zur einer sich über dem Objektträger erstreckenden Oberfläche eines Bades aus verfestigbaren Material in dem Rapid-Prototyping-System, die eine Bildebene für den Laserstrahl definiert, ist. Der Träger 6 ist zusammen mit dem darauf befindlichen Film 5 von dem Objektträger 9 abnehmbar, so daß er abgenommen und in die Vorrichtung zur Auswertung des Testbildes eingebracht werden kann.

Wie aus Fig. 1b ersichtlich ist, umfaßt die Vorrichtung zum Auswerten des Testbildes eine mittels einer Computersteuerung positionierbare Videokamera 10 und einen mit der Videokamera 10 verbundenen Computer 11. Die Vorrichtung umfaßt ferner einen nicht gezeigten höhenverstellbaren Halter zum Halten des Trägers 6

mit dem darauf angeordneten Film 5, so daß der Film 5 einen Abstand d zum Objektiv der Videokamera aufweist. Die Videokamera 10 ist über dem in die Vorrichtung eingebrachten Film 5 derart positionierbar, daß mit der Kamera das gesamte Arbeitsfeld zum Erzeugen von Bildausschnitten eines auf dem Film 5 erzeugten Testbildes abgefahren werden kann.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird anstelle der positionierbaren Videokamera 10 ein Pixelscanner verwendet.

Bei dem Verfahren zur Kalibrierung der Scannersteuerung 4 wird zuerst der Träger 6 mittels der höhenverstellbaren Füße 7 mit Hilfe einer Wasserwaage so horizontal einjustiert, daß der Träger 6 parallel zu der Trägerplattform 8 bzw. parallel zu der Badoberfläche ist.

Auf der dem Laserstrahl 2 zugewandten Oberfläche des Trägers 6 wird sodann der lichtempfindliche Film 5 aufgelegt bzw. befestigt. Anschließend wird der lichtempfindliche Film 5, wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, durch Ablenken des Laserstrahls 2 über den Scanner 3 an vorgegebene Positionen auf dem Film 5 zum Erzeugen eines Testbildes 20 bestrahlt. Die Ablenkung des Laserstrahls 2 mit dem Scanner 3 erfolgt dabei zu Beginn der Iteration auf der Grundlage einer analytisch erzeugten Korrekturtabelle, welche die Zuordnung zwischen Koordinaten von in dem Scanner angeordneten Ablenkspiegeln und den Istkoordinaten, d. h. den Auftreffpunkten des Laserstrahls 2 auf dem Arbeitsfeld angibt. Bevorzugt erfolgt die Bestrahlung des lichtempfindlichen Films in der Form eines Testgitters, welches ein Koordinatenraster von Istkoordinaten darstellt. Der Mittelpunkt des lichtempfindlichen Films 5 und damit der Mittelpunkt des Arbeitsfelds wird zur Erzeugung einer Mittelpunktscodierung gesondert markiert.

Bei der Verwendung eines Pixelscanners zur Bildaufnahme werden entsprechend der Größe des Pixelscanners Markierungen zur Teilbildererkennung vorgesehen.

Die Erzeugung des Testbilds erfolgt in sehr kurzer Zeit etwa in 30 Sekunden oder weniger. In dieser Zeit ist die Wahrscheinlichkeit für eine erhebliche Laser- bzw. Scannerdrift sehr gering. Daher wird ein stationärer Zustand des Lasers und des Scanners in dem Testbild 20 festgehalten.

Das erzeugte Testbild 20 wird als nächstes ausschnittsweise untersucht bzw. abgetastet. Dazu wird die Videokamera 10 sukzessive über dem erzeugten Testbild 20 verfahren, so daß jeweils Bildausschnitte 21 des Testbildes 20 mit der Kamera erzeugt werden. Die Größe der Bildausschnitte 21 kann durch Wahl des Objekts der Videokamera 10 bestimmt werden.

Die Verwendung einer Videokamera 10 bietet den Vorteil, daß durch Wahl eines geeigneten Objektivs die Genauigkeit stark verbessert werden kann, da die Auflösung bei einer Digitalisierung dadurch wesentlich erhöht wird. Bei der Verwendung eines wirtschaftlichen und mobilen Pixelscanners wird jeder Bildausschnitt 21 einzeln eingescannt.

Jeder Bildausschnitt 21 wird in dem Computer 11 mit einem entsprechenden Bildverarbeitungsprogramm analysiert. Dabei werden in dem Bildausschnitt 21 befindliche Gitterkreuzungen des Testgitters auf der Grundlage einer Grauwertanalyse digitalisiert und als Bildkoordinaten gespeichert. Die Grauwertanalyse steigert die Auflösung beträchtlich im Vergleich zu einer bloßen Schwarz-Weiß-Analyse. Die Analyse erlaubt das Erkennen von Testbildern unterschiedlichsten Kontrastes, Ausleuchtung und Formats. Die Bildkoordinaten

können durch die Abbildungseigenschaften der Videokamera 10 von den realen Koordinaten, die durch die Auftreffpunkte des Laserstrahles auf dem Arbeitsfeld definiert sind, abweichen.

Bei der Verwendung eines Pixelscanners werden der Größe des Pixelscanners entsprechende Teilbilder überlappend digitalisiert.

Als nächstes werden die mit dem Bildverarbeitungsprogramm erzeugten Bildkoordinaten der Gitterpunkte der digitalisierten Einzelbilder sowie deren Mittelpunktskodierungen an ein Auswertprogramm übergeben. Mittels dieses Auswertprogramms werden die digitalisierten Einzelbilder zu einem Gesamtbild zusammengesetzt, wobei das Auswertprogramm die Mittelpunktskodierung des Testbildes erkennt. Bei Verwendung eines Pixelscanners werden zusätzlich erzeugte Positionsmarken zur Auswertung und zum Zusammensetzen der Einzelbilder verwendet.

Zur Kamerakalibrierung werden die Bildkoordinaten des erzeugten Gesamtbildes mit den digitalisierten Koordinaten, eines photomechanisch gefertigten Referenzgitters verglichen, wobei eine durch die Abbildung der Kamera verursachte Abweichung zwischen Bildkoordinaten und realen Koordinaten in der Arbeitsebene erkannt wird und korrigiert wird, so daß die Istpositionen des Laserstrahls in dem Gesamtbild in realen Koordinaten vorliegen. Die Mittelpunktskodierung des Testbildes kann dabei zur Transformation verwendet werden. Die Bewertung des Gesamtbildes wird in einem Protokoll gespeichert.

Auf der Grundlage des Vergleichs der gemessenen Istpositionen des Laserstrahls 2 auf dem Testbild 20 mit vorgegebenen Sollpositionen wird die Korrekturtabelle modifiziert.

Das Auswertprogramm verfügt über eine graphische Benutzeroberfläche und ist somit leicht zu bedienen. Das Programm erlaubt die analytische Erstellung der unmodifizierten Korrekturtabelle mit und ohne Planfeldkorrektur. Ferner kann das Programm gemessene Punkte darstellen, die Punktekoordinaten des gesamten Testbildes unabhängig von der Gitterkonstante zusammensetzen und darstellen, ein Bewertungsprotokoll ausgeben, die Korrekturtabelle unter Anwendung der Meßdaten modifizieren und Korrekturtabellen anzeigen sowie für die Scannersteuerung 4 verwendbar abspeichern. Das Auswertprogramm ist außerdem in der Lage, die gemessenen Höhe h des Abstands des Trägers 6 zur Oberseite der Trägerplattform 8 zur Erzeugung einer Höhenkorrektur für die Korrekturtabelle zu verarbeiten. Die Höhenkorrektur dient zur Steuerung des Scanners für den Fall, daß die Kalibrierung in einem Rapid-Prototyping-System durchgeführt wird, bei dem der Träger 6 des Films 5 nicht exakt in der Ebene der Oberfläche des Bades aus verfestigbarem Material positioniert werden kann, da z. B. das Prozeßmedium bzw. das verfestigbare Material nicht von dort entfernt werden kann.

Die mit dem Auswertprogramm modifizierte Korrekturtabelle wird anschließend an die Scannersteuerung 4 übergeben. Ein neues Testbild kann damit erstellt, vermessen und ausgewertet werden. Diese Auswertung kann wieder zur Modifikation der Korrekturtabelle herangezogen werden. Der Vorgang führt nach ein bis zwei Iterationen zu einem Scannersystem mit realen Koordinaten.

Die Auswertung von Testbildern aus verschiedenen Rapid-Prototyping-Systemen kann nacheinander durchgeführt werden und die so erzeugten Korrekturta-

bellen können auf die Systeme mittels geeigneter Datenübertragung übertragen werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung der Steuerung zur Ablenkung eines Laserstrahls für Rapid-Prototyping-Systeme mit den Schritten:

a) Erzeugen eines Testbildes (20) durch Bestrahlen eines lichtempfindlichen Mediums (5) mit einem Laserstrahl (2) an vorgegebenen Positionen

b) Erzeugen von digitalisierten Einzelbildern von Ausschnitten (21) des Testbildes (20)

c) Zusammensetzen der digitalisierten Einzelbilder zu einem Gesamtbild des Testbildes (20)

d) Vergleichen von Istpositionen des Laserstrahls (2) auf dem Gesamtbild mit vorgegebenen Sollpositionen

e) Berechnen und Bereitstellen von Korrekturdaten für die Steuerung (4) zur Ablenkung des Laserstrahls (2) auf der Grundlage der Vergleichsergebnisse.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Erzeugen der digitalisierten Einzelbilder jeweils durch Erzeugen eines Ausschnittes (21) des Testbildes (20) mit einer Bildaufnahmeeinrichtung (10) und anschließendes Digitalisieren des Ausschnittes (21) in einem Computer (11) erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Bildaufnahmeeinrichtung eine positionierbare Videokamera (10) verwendet wird und die Positionierung der Videokamera (10) zum Erzeugen der Ausschnitte (21) des Testbildes (20) mittels eines Computers (10) gesteuert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Bildaufnahmeeinrichtung ein positionierbarer Pixelscanner verwendet wird und die Positionierung des Pixelscanners zum Erzeugen der Ausschnitte (21) des Testbildes (20) mittels eines Computers (10) gesteuert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als lichtempfindliches Medium ein für eine Wellenlänge des Laserstrahls (2) empfindlicher Film (5) verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Testbild (20) ein Testgitter in Form eines Koordinatenrasters erzeugt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Testbild (20) eine Mittelpunktskodierung erzeugt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß für das Erzeugen der digitalisierten Einzelbilder mit dem Pixelscanner Positioniermarken auf dem Testbild (20) erzeugt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Erzeugen der digitalisierten Einzelbilder auf der Grundlage einer Grauwertanalyse der mit der Bildaufnahmeeinrichtung erzeugten Ausschnitte (21) des Testbildes (20) im Computer (11) erfolgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß eine Digitalisierung von Koordinaten des Testbildes (20) mittels eines Referenzgitters erfolgt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekenn-

zeichnet, daß als Referenzgitter ein fotomechanisch

erzeugtes Präzisionsreferenzgitter verwendet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch
gekennzeichnet, daß die Digitalisierung den Ver-
gleich von Bildkoordinaten des Gesamtbildes mit
Koordinaten des Referenzgitters und die Umrech-
nung der Bildkoordinaten in reale Koordinaten
zum Erhalten der Istpositionen des Laserstrahls in
dem Gesamtbild in realen Koordinaten auf der
Grundlage des Vergleichs umfaßt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, daß der Film (5) auf eine
auf einem Objektträger (8, 9) eines Rapid-Prototy-
ping-Systems angebrachten und relativ zu dem Ob-
jektträger höhenverstellbaren Träger (6) aufge-
bracht wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugung des
Testbildes (20) und die Auswertung des Testbildes
(20) räumlich getrennt voneinander erfolgen.

15. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens
nach einem der Ansprüche 1 bis 13, gekennzeichnet
durch

einen Laser (1) zum Erzeugen eines gerichteten La-
serstrahls (2);

eine Steuerung (3, 4) zum Ablenken des Laser-
strahls (2);

ein lichtempfindliches Medium (5) zum Belichten
mit dem Laserstrahl (2) zum Erzeugen eines Test-
bildes (20);

eine positionierbaren Bildaufnahmeeinrichtung
(10) und einen Computer (11).

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch ge-
kennzeichnet, daß die Steuerung zum Ablenken des
Laserstrahls (2) einen Galvanometerscanner (3)
und eine Galvanometersteuerung (4) umfaßt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 15 oder 16, gekenn-
zeichnet durch einen Träger (6) zum Tragen des
lichtempfindlichen Mediums (5).

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch ge-
kennzeichnet, daß der Träger (6) auf einem Objekt-
träger (8, 9) einem Rapid-Prototyping-System an-
bringbar ist und relativ zu diesem in einer Richtung
des Laserstrahles (2) höhenverstellbar ist.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis
18, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildaufnahme-
einrichtung als Videokamera (10) ausgebildet ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis
18, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildaufnahme-
einrichtung als Pixelscanner ausgebildet ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

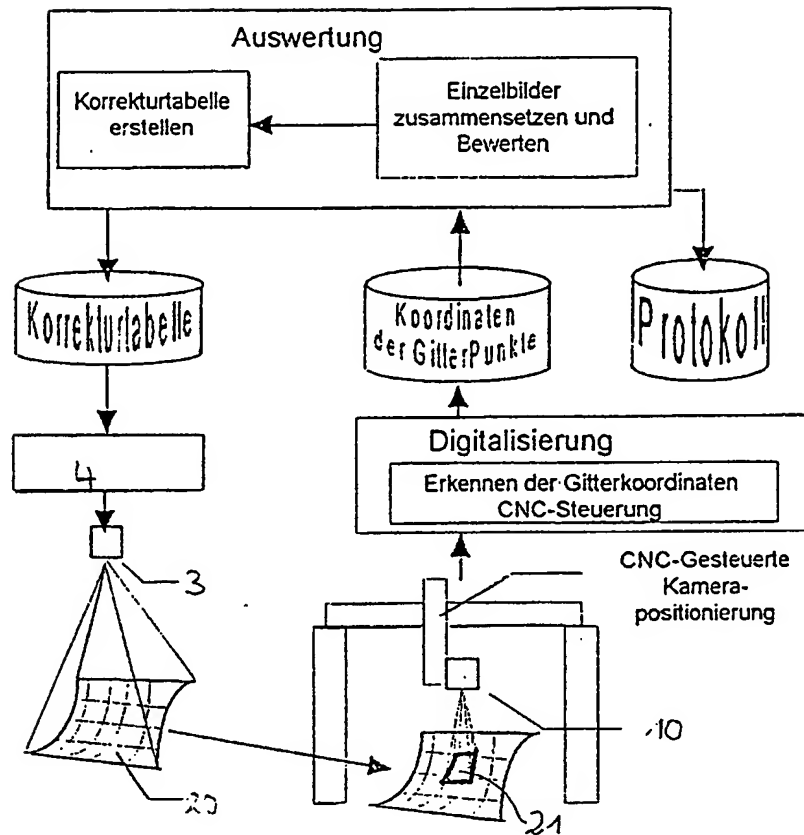


Fig. 2

*

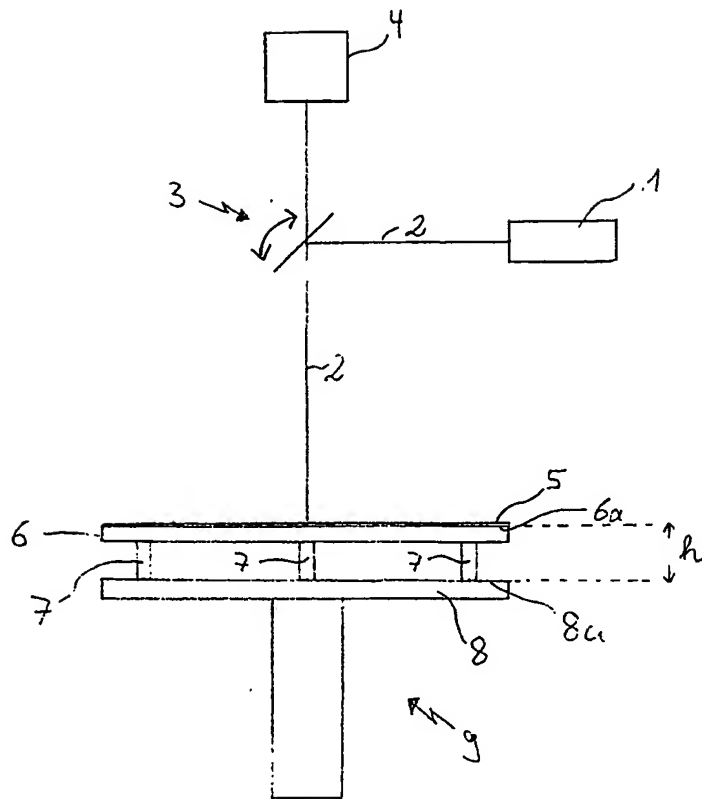


Fig. 1a

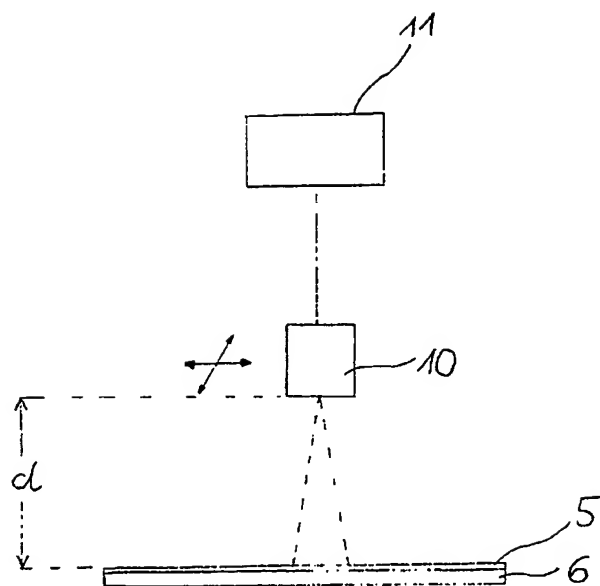


Fig. 1b